

Combining a cochlear implant and a hearing aid in opposite ears

Citation for published version (APA):

Devocht, E. (2019). *Combining a cochlear implant and a hearing aid in opposite ears: The best of both worlds*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Maastricht University.
<https://doi.org/10.26481/dis.20190703ed>

Document status and date:

Published: 01/01/2019

DOI:

[10.26481/dis.20190703ed](https://doi.org/10.26481/dis.20190703ed)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.



SUMMARY

BACKGROUND

Cochlear implantation (CI) is considered standard of care to restore the access to sound in severely hearing impaired subjects. With inclusion criteria broadening over the years, the number of CI candidates keeps increasing. Many still have useful residual hearing in the non-implanted ear and can therefore be fitted with a conventional hearing aid (HA). When electric hearing by means of a CI in one ear is supplemented with acoustic hearing by use of a conventional HA in the opposite ear, one speaks of bimodal hearing.

Many researchers have demonstrated the benefit from a HA in bimodal listeners. Yet survey studies show that laboratory tests do not always relate to how CI recipients rate their abilities in everyday situations. Moreover little research has been carried out to assess which unilateral CI recipients are most likely to become bimodal users in the first place. Addressing the occurrence of bimodal use and the experiences of bimodal users in daily life are however very relevant topics in counseling unilateral CI recipients and providing them with a tailored fitting.

Concerning outcomes, it is known that speech perception in noise still remains one of the most challenging tasks for CI recipients. This refers not only to the intelligibility of the speech but also to the effort it takes to trace speech amongst competing noise and the quality of the sound that is perceived by the CI user. Nowadays directional microphone systems are accessible for HA as well as CI. Both bimodal hearing and directional microphone systems are proven ways to improve performance in noise. They are considered to be complementary, but however have not yet been evaluated conjointly.

Finally, the CI listening experience can possibly further be improved by optimizing its frequency representation, which differs from the natural acoustic pitch percept. It is known that CI recipients can, to a certain extent, adjust to this mismatch and can achieve good levels of speech intelligibility. Yet it is still unclear what could be the potential if the CI fitting better follows the natural tonotopy, especially when electric hearing is combined with natural residual hearing. In the case of bimodal hearing, frequency matched input across ears could augment the bimodal benefit based on bilateral and binaural cues.

OBJECTIVES

The general aim of the presented research was to gain more insight into the field of bimodal aiding. The following objectives were specifically dealt with in the consecutive chapters of this thesis:

- (1) Investigate the occurrence of a unilateral CI recipient becoming a bimodal user
- (2) Assess bimodal experiences in daily life listening situations
- (3) Measure bimodal benefit on speech perception across the range of bimodal users
- (4) Evaluate monaural beamforming in bimodal recipients to improve speech perception in noise
- (5) Explore the place-pitch mismatch between electric hearing and natural acoustic hearing

METHODS

A research project was carried out among the population of adult unilateral CI recipients at Maastricht University Medical Center. (1) A retrospective cohort chart review investigated the characteristics of those patients who continued or discontinued the use of their contralateral HA. (2) Secondly, a set of bimodal self-assessment questionnaires was sent out to query the daily life hearing experiences between both groups as well as within the bimodal group itself. (3) Thereafter a subset of subjects within the bimodal group was tested using a composed bimodal test battery measuring the degree of benefit from the HA aside the CI on different dimensions of speech perception, namely intelligibility, listening effort and sound quality. (4) Finally a subgroup of bimodal listeners was fitted with the same CI speech processor and a state-of-the art HA as to evaluate different directional microphone configurations when activated in the CI and/or the HA. (5) In order to explore the electric-acoustic place-pitch mismatch, the feasibility of a new calculation method using 3D imaging was investigated by comparing it to the pitch-matching task performed by a single sided deaf CI recipient.

RESULTS

The database study in Chapter (1) demonstrated a bimodal HA retention rate of more than 60% one year after receiving a unilateral CI. Continuing the use of a contralateral HA was significantly associated with better pure-tone thresholds and unaided speech scores in the non-implanted ear, as well as a smaller difference in speech recognition scores between both ears. A combined model of these factors related to bimodal HA retention was presented. Discrimination values were proposed as to identify which unilateral CI recipients are most likely to become bimodal users.

The questionnaire study in Chapter (2) showed that unilateral CI recipients who did not use a contralateral HA score their self-rated disability, hearing handicap and health related quality of life no different than those who did make use of

bimodal aiding. However, when hearing (dis)ability was questioned within the group of bimodal listeners for the different listening situations (CI only, HA only, CIHA together), bimodal benefit could consistently be observed across various daily life hearing situations.

Chapter (3) presented the results of a bimodal test battery for speech perception. Speech intelligibility scores in quiet were better when performed bimodally compared to listening with CI or HA alone. Bilateral and binaural benefits of bimodal aiding were determined for speech intelligibility in spatially separated noise situations. At high signal-to-noise ratios, listening bimodally was shown to require less effort than listening with the CI alone. When rating the experienced sound quality of their bimodal hearing configuration, subjects judged it to sound significantly more voluminous and brighter than the HA alone and more voluminous, less unpleasant and less tinny compared to listening with the CI alone.

Chapter (4) illustrated that the application of a monaural beamformer in bimodal listeners could provide a substantial benefit for speech intelligibility in stationary as well as fluctuating noise. Most benefit was seen when beamforming was activated symmetrically in both CI and HA. Listening effort did not show an effect of directivity on top of speech intelligibility. Despite the benefits of directional microphones, there still remained a large difference between the performance of bimodal CI users and normal hearing listeners.

A proof-of-principle study in Chapter (5) revealed that the electrically evoked pitch percept matched well with the calculated frequency using the presented 3D imaging method. The new method reduced the mismatch compared to the conventional imaging method and was established as a valuable tool to predict the pitch percept on corresponding cochlear electrode positions. By means of the 3D imaging method the individual electric frequency allocation can be estimated in order to better resemble the natural acoustic tonotopy.

CONCLUSIONS

The majority of unilateral CI recipients continued to use a conventional HA after implantation. Using a HA aside the CI provided substantial benefits in diverse daily life hearing situations. Bimodal benefits were objectively demonstrated across extended dimensions of speech perception. Performance in noise could further be improved by implementing directional microphone systems in both CI and HA. It is hypothesized that reducing the place-pitch mismatch between electric and acoustic hearing can further improve the bimodal experience. Efforts should be continued to maximize the profit of combining the acoustic and electric worlds of hearing.



SAMENVATTING

ACHTERGROND

Cochleaire implantatie (CI) wordt beschouwd als een gebruikelijke behandeling om ernstig slechthorende personen opnieuw toegang te geven tot geluid. Doordat de selectiecriteria voor CI door de jaren heen werden verruimd, is het aantal CI kandidaten toegenomen. Veel van hen hebben nog bruikbaar restgehoor in het niet geïmplanteerde oor, waardoor er in dit oor een conventioneel hoortoestel (HT) kan worden gebruikt. Wanneer elektrisch horen door middel van een CI in het ene oor wordt gecombineerd met akoestisch horen door een hoortoestel in het andere oor, spreekt men van bimodaal horen.

Meerdere onderzoeken hebben reeds bewezen dat het hoortoestel een meetbare verbetering oplevert voor bimodale luisteraars. Vragenlijststudies tonen echter aan dat er geen één-op-één relatie bestaat tussen hoe patiënten presteren in testsituaties en hoe ze hun functioneren beoordelen in dagelijkse luistersituaties. Bovendien is er nog weinig onderzoek gedaan naar welke unilaterale CI gebruikers in de eerste plaats de meeste kans hebben om een bimodale gebruiker te worden. Het voorkomen van bimodaal gebruik en de ervaringen van bimodale luisteraars in het dagelijks leven zijn echter zeer relevante onderwerpen wanneer we unilaterale CI gebruikers willen adviseren richting de meest geschikte hooroplossing.

Het is bekend dat de waarneming van spraak in rumoerige situaties nog steeds de grootste uitdaging vormt voor CI gebruikers. Hierbij wordt niet alleen het verstaan van spraak bedoeld, maar ook de inspanning die het kost om spraak te volgen te midden van storende ruis en de kwaliteit van het geluid dat wordt waargenomen door de CI gebruiker. Vandaag de dag is de technologie van directionele microfoons beschikbaar in zowel hoortoestellen als CI's. Zowel bimodaal horen als directionele microfoonsystemen zijn bewezen manieren om prestaties in ruis te verbeteren. Ze worden beschouwd als complementair, maar werden tot op heden nog niet in combinatie geëvalueerd.

Tenslotte kan de luisterervaring van CI gebruikers mogelijk verbeterd worden door het optimaliseren van de wijze waarop frequentie informatie op een bepaalde locatie in het slakkenhuis wordt afgebeeld. Deze verschilt namelijk van de natuurlijke wijze waarop toonhoogte akoestisch wordt waargenomen. Het is bekend dat CI gebruikers tot op zekere hoogte kunnen wennen aan dit verschil, waardoor ze toch goede resultaten qua spraakverstaan bereiken. Het is echter nog steeds onduidelijk wat de mogelijkheden zouden kunnen zijn als de CI instellingen de natuurlijke tonotopie beter zouden volgen. Dit is met name van belang wanneer elektrische stimulatie gecombineerd wordt met natuurlijk restgehoor. Input die qua frequentie overeenstemt tussen beide oren zou het bimodaal voordeel nog

kunnen verhogen op basis van het beschikbaar worden van bilaterale en binaurale aanwijzingen.

DOELSTELLINGEN

Het algemene doel van het hier gepresenteerde onderzoek was om meer inzicht te verwerven binnen het onderzoeksgebied van bimodaal horen. De volgende doelstellingen kwamen specifiek aan bod binnen de opeenvolgende hoofdstukken van deze thesis:

- (1) Nagaan welke unilaterale CI patiënten uiteindelijk een bimodale gebruiker worden
- (2) Bimodale ervaringen in dagelijkse luistersituaties in kaart brengen
- (3) De mate van bimodaal voordeel vaststellen voor wat betreft de perceptie van spraak in brede zin
- (4) Een monuraal directioneel microfoonsysteem evalueren bij bimodale gebruikers
- (5) Het plaats-toonhoogte verschil tussen elektrisch horen en natuurlijk akoestisch horen verkennen

METHODES

Er werd een onderzoeksproject uitgevoerd naar de populatie volwassen unilaterale CI-gebruikers in het Maastricht Universitair Medisch Centrum. (1) Een retrospectieve cohortstudie onderzocht de eigenschappen van patiënten die wel of niet een hoortoestel bleven dragen in het contralaterale oor. (2) Een set van bimodale vragenlijsten werd uitgestuurd om het verschil in kaart te brengen wat betreft dagelijkse luisterervaringen tussen beide groepen van patiënten, evenals binnen de groep van bimodale gebruikers. (3) Vervolgens werd een deel van de bimodale gebruikers getest door middel van een bimodale testbatterij die werd samengesteld om de mate van bimodaal voordeel te meten over verschillende dimensies van spraakwaarneming, namelijk het verstaan, de luisterinspanning en de geluidskwaliteit. (4) Tot slot werd een deel van de groep bimodale gebruikers voorzien van dezelfde CI spraakprocessor en een modern hoortoestel om verschillende directionele microfoonconfiguraties in het CI en/of het hoortoestel te testen. (5) Om het elektrisch-akoestische plaats-toonhoogte verschil te verkennen, werd de mogelijkheid van een nieuwe rekenmethode op basis van 3D beeldvorming onderzocht. Het resultaat werd vergeleken met een taak betreffende toonhoogtewaarneming die werd uitgevoerd door een eenzijdig dove CI gebruiker.

RESULTAAT

De databasestudie in Hoofdstuk (1) toonde aan dat meer dan 60% van de unilaterale CI gebruikers één jaar na implantatie een hoortoestel blijft dragen in het contralaterale oor. Het blijven dragen van een hoortoestel in het andere oor bleek significant gerelateerd aan betere toondrempels en betere spraakscores (zonder behulp van een hoortoestel) in het niet geïmplanteerde oor, evenals een kleinere verschilscore qua spraakverstaan tussen beide oren. Op basis van deze factoren werd een gecombineerd model gepresenteerd betreffende de kans op bimodaal HT gebruik. Discriminatiewaarden werden voorgesteld om te bepalen welke unilaterale CI patiënten de meeste kans hebben om bimodaal gebruiker te worden.

De vragenlijststudie in Hoofdstuk (2) toonde aan dat unilaterale CI patiënten zonder hoortoestel in het andere oor hun hoormogelijkheden, auditieve handicap en kwaliteit van leven niet anders beoordeelden dan de patiënten die wel een hoortoestel bleven dragen. Wanneer echter de hoormogelijkheden binnen de bimodale groep werden bevraagd betreffende het luisteren met CI alleen, met HT alleen en met CI en HT samen, kon er consistent bimodaal voordeel worden aangetoond over alle verschillende dagelijkse hoorsituaties heen.

De resultaten van de bimodale testbatterij voor spraakwaarneming werden gepresenteerd in Hoofdstuk (3). De score voor het verstaan van spraak in stilte was beter wanneer er bimodaal dan wanneer er enkel met CI of enkel met het hoortoestel geluisterd werd. Bilaterale en binaurale voordelen van bimodaal horen voor het verstaan van spraak met spatiaal gescheiden ruisbronnen werden vastgelegd. Bij hoge signaal-ruis-verhoudingen kostte bimodaal luisteren significant minder luisterinspanning dan wanneer geluisterd werd met het CI alleen. De kwaliteit van de geluidservaring met CI en HT samen werd door bimodale gebruikers beoordeeld als voller en helderder dan het HT alleen en voller, minder onaangenaam en minder blikerig dan wanneer er geluisterd werd met het CI alleen.

Hoofdstuk (4) illustreerde dat de toepassing van een monaurale directioneel microfoon systeem bij bimodale gebruikers een substantieel voordeel kan opleveren voor het verstaan van spraak in zowel stationaire als fluctuerende ruis. Het meeste voordeel werd vastgesteld wanneer het directionele systeem symmetrisch werd geactiveerd in zowel het CI als het HT. Luisterinspanning toonde geen bijkomend voordeel van directionaliteit bovenop het spraakverstaan. Ondanks de voordelen van directionele microfoons en bimodaal horen bleef er nog

steeds een groot verschil bestaan tussen de prestatie van bimodale CI patiënten en normaal horende luisteraars.

De verkennende studie in Hoofdstuk (5) toonde aan dat elektrisch opgewekte toonhoogtewaarneming goed overeenkwam met de berekende frequentie door gebruik te maken van de 3D beeldvormingstechniek. De nieuwe methode reduceerde het verschil in vergelijking met de conventionele beeldvormingsmethode en werd geschikt bevonden als instrument om de waarneming van toonhoogte te voorspellen op overeenkomstige cochleaire elektrodeposities. Door gebruik te maken van de 3D beeldvormingstechniek kan de individuele elektrische frequentie-allocaatie beter geschat worden om op deze wijze beter overeen te komen met de natuurlijke akoestische tonotopie.

CONCLUSIE

De meerderheid van de unilaterale CI patiënten blijft na implantatie een conventioneel hoortoestel gebruiken in het andere oor. Het gebruik van een hoortoestel naast het CI leverde substantiële voordelen op voor diverse dagelijkse luistersituaties. Dit bimodaal voordeel werd objectief aangetoond voor verschillende dimensies van spraakperceptie, namelijk verstaan, luisterinspanning en geluidskwaliteit. Er werd vastgesteld dat directionele microfoonsystemen de prestatie in ruis nog verder kunnen verbeteren wanneer deze worden toegepast in zowel het CI als het hoortoestel. De hypothese werd gevormd dat het reduceren van het plaats-toonhoogte verschil tussen elektrisch en akoestisch horen een verdere verbetering kan opleveren van de bimodale luisterervaring. Resultaten pleiten voor verder bimodale samenwerking. We moeten inspanningen blijven leveren om de best mogelijke winst te halen uit de combinatie van de akoestische en elektrische hoorwereld.